


UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Álvaro Suazo Schwencke.



**DESEMPEÑO DE UN SENSOR DE
HUMEDAD EN UN SUELO CON
VEGETACIÓN**

Proyecto de título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título
de Ingeniero Civil

ALEJANDRO ANTONIO LEPE CARRILLO

Concepción, Julio de 2014.

Dedicado a quienes dieron todo por sus hijos,

Los que con la formación entregada a ellos

También formaron mi vida.

A mis abuelos...

Juan Carrillo (Q.E.P.D)

Magdalena Molina

Saturnino Lepe (Q.E.P.D)

Raquel Molina (Q.E.P.D)

Gracias...

Gracias Dios por todo tu amor, misericordia y ayuda en este tiempo de formación.

Gracias Familia, mi padre Alejandro, mi madre Mercedes, mi hermana Pamela, mi abuela Magdalena, mis tíos Carmen, Nany y Choci por su amor, esfuerzo, dedicación, preocupación y comprensión en todo momento, por guiarme a ser cada día mejor.

Gracias a quien llego a iluminar mi vida, a darle un sentido mayor a mi existencia, quien es mi ejemplo en pasión, dedicación y entrega. Para quien soy lo que soy, gracias amor de mi vida, corazón mío, amada esposa Jéssica... mi Yiyi.

Gracias a los amigos que fueron llegando y se quedaron en mi vida siendo significativos en todo este proceso, con quienes podía olvidar las preocupaciones académicas por un tiempo y disfrutar de la buena compañía. Gracias Ricardo, Tomás, Carlos, Isaac los amigos que trascienden a lo largo de los años. Gracias Loredana, Karol, Carito y Cristian no olvidar... "¡La Resistencia!"

*Todos ustedes que fueron parte de este proceso, gracias.
Con su apoyo y dedicación, hoy puedo culminar esta etapa importante de mi vida.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1 INTRODUCCIÓN	3
1.1 Justificación del tema	3
1.2 Alcance de la investigación	4
1.3 Objetivos de la investigación	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
2 MEDICION DE HUMEDAD EN EL SUELO CON SENSORES.....	5
2.1 Sensores capacitivos	5
2.2 Sensores resistivos	6
2.3 Sensores por conductividad	7
2.4 Sensor EC-5	8
2.4.1 Características del sensor EC-5	9
2.4.2 Método de uso del sensor EC-5.....	10
3 METODOLOGÍA	12
3.1 Suelo utilizado.....	12
3.2 Variables a medir	12
3.3 Medición para analizar desempeño del sensor	13
3.4 Determinación del volumen de control	14
3.5 Ensayos para analizar la influencia de raíces.....	15
4 RESULTADOS Y ANÁLISIS	16

4.1	Salinidad del suelo utilizado.....	16
4.2	Desempeño del sensor EC-5 para caso general.....	16
4.3	Volumen de control determinado.....	18
4.4	Influencia de las raíces en la medición.....	20
5	CONCLUSIONES.....	22
6	BIBLIOGRAFÍA.....	24

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Sensor capacitivo HS 1101.....	6
Figura 2.	Sensor resistivo HCZ H6.....	7
Figura 3.	Sensor conductivo 5TE.....	8
Figura 4.	Sensor humedad EC-5.....	9
Figura 5.	Esquema de instalación sensor EC-5.....	11
Figura 6.	Esquema de la toma de mediciones.....	13
Figura 7.	Promedio de humedades para los dos casos analizados.....	17
Figura 8	Resultados de humedad instrumental con influencias de raíces.....	20

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Características del sensor EC-5.....	10
Tabla 2.	ANAVA para análisis general de datos.....	18
Tabla 3.	Resumen humedades para cada diámetro.....	19
Tabla 4.	Menor error relativo en cada medición.....	19

Tabla 5. Comparación de los errores relativos del caso con raíces y el caso normal.....	21
Tabla 6. Resultados Prueba de signos de Wilcoxon.....	21

DESEMPEÑO DE UN SENSOR DE HUMEDAD EN UN SUELO CON VEGETACIÓN

Autor: Alejandro Lepe Carrillo

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: allepe@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Álvaro Suazo Schwencke

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: asuazo@ubiobio.cl

RESUMEN

Conocer las características del suelo con el que se esté trabajando es fundamental, una de ellas es la humedad con la que se pueden tomar ciertas decisiones a priori, el conocer esta característica lo más rápido posible ayuda bastante para saber las condiciones que presenta el suelo, para esto se utilizan sensores de humedad, los cuales en instantes entregan el valor buscado.

La presente memoria trabaja con el sensor de humedad EC-5 el cual se encuentra con un desgaste de sus paletas, se analiza si las mediciones entregadas por el sensor son correctas o no, también se realiza ensayos para conocer el volumen de control y el comportamiento de las mediciones con influencias de raíces. Se encuentra un rango de humedades en el que el sensor funciona de manera aceptable, también se comprueba un aumento en el volumen de control esto debido al desgaste presentado y por último se comprueba la influencia negativa de raíces en la medición.

Palabras claves: Sensor de humedad, influencia de raíces, volumen de control.

Número de palabras: 4189 Palabras texto + 15 Figuras/Tablas* 250 = 7939

ABSTRACT

PERFORMANCE OF A SENSOR IN A SOIL MOISTURE WITH VEGETATION

Author: Alejandro Carrillo Lepe

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío-Bío

Email: allepe@alumnos.ubiobio.cl

Professor Sponsor: Alvaro Suazo Schwencke

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío-Bío

Email: asuazo@ubiobio.cl

Knowing the characteristics of the soil with which you are working is essential, one of them is the humidity which can make certain decisions a priori, knowing this feature as soon as possible helps a lot to know the conditions presented by the soil, for this moisture sensors are used which deliver instants sought value.

This memory works with the humidity sensor EC-5 which is a wear blades, we analyze whether measurements provided by the sensor are correct or not, testing is also performed for the volume control and behavior measurements with influences from roots. There is a range of moisture when the sensor is functioning in an acceptable manner, an increase in the control volume introduced due to this wear and finally the negative influence of roots is found in the measurement is also checked.

Keywords: Humidity sensor, influence of roots, volume control.

1 INTRODUCCIÓN

El suelo es una mezcla de tres partes: sólida (partículas de suelo), líquida (agua) y gaseosa (aire) (Malagón, y Montenegro, 1990). Al momento de estudiar el suelo no sólo se debe centrar el estudio en la parte sólida, también es importante conocer y medir con exactitud el contenido de agua en el suelo (humedad). Esto sirve para conocer la condición inicial en la que se encuentra el suelo antes de que se realice alguna obra civil. También se puede aplicar a otras áreas por ejemplo en la agronomía logrando de esta forma poder controlar el riego en las plantaciones (Mounzer, 2005).

Para conocer el contenido de agua se utiliza el procedimiento indicado en la *NCh 1515.Of79*. En la actualidad con los avances en tecnología este procedimiento no es el único con el que se puede obtener este parámetro, existiendo varios dispositivos capaces de medir la humedad del suelo de forma inmediata, disminuyendo considerablemente los tiempos de respuesta y permitiendo mediciones en lugares de difícil acceso y extracción de muestras.

Los dispositivos (sensores) utilizados para medir la humedad relativa se dividen principalmente en tres grupos, siendo diferenciados por la tecnología utilizada en la medición, existiendo sensores capacitivos, sensores resistivos y sensores por conductividad.

1.1 Justificación del tema.

La Universidad del Bío-Bío posee a su haber un sensor de humedad EC-5, el cual utiliza tecnología capacitiva. Este sensor ha sido utilizado para trabajos académicos en reiteradas ocasiones desde el año 2010, producto de lo cual se ha producido un desgaste en las paletas de medición, lo que genera dudas sobre la exactitud de las mediciones entregadas.

1.2 Alcance de la investigación.

La presente investigación analiza la medición de humedad entregada por el sensor EC-5 para muestras de suelo preparadas y conocidas sus humedades, se comparan los resultados obtenidos y se logra cuantificar, en caso de que existiera, el error asociado a la medición. En segundo lugar, también se estudia la geometría del volumen de control para el sensor, confeccionando probetas de estudio con diferentes medidas y por último identifica la influencia de las raíces en la medición. Por medio de este procedimiento se conoce la necesidad de cambiar el sensor o mantenerlo.

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo General.

- Verificar la medición de humedad del sensor EC-5, mediante un análisis comparativo de las mediciones en probetas con distintas humedades.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Comparar la influencia de la profundidad del sensor para la medición.
- Determinar la geometría del volumen de control representativo.
- Analizar la influencia de vegetación y/o material orgánico en las mediciones registradas.

2 MEDICIÓN DE HUMEDAD EN EL SUELO CON SENSORES

Se define humedad como una variable física que corresponde a la cantidad de agua disuelta en un gas o absorbida en un sólido. Conocer esta variable resulta de gran importancia al momento de tomar decisiones. Para obtener la cantidad de agua en el suelo normalmente se utiliza la NCh1515 Of79, en la cual se detalla el procedimiento a realizar logrando de esta forma conocer el porcentaje de humedad que posee el suelo en cuestión. Para esto es necesario esperar un mínimo de 12 horas. Este factor se ve incrementado de forma directa con el porcentaje de humedad en la muestra. Después de esta espera se pueden obtener los resultados necesarios para la toma de decisiones. Sin embargo con los avances en la tecnología, desde finales de la década de los 80 se han desarrollado sensores que entregan resultados en tiempo real (Stafford, y Hendrick, 1988) logrando disminuir considerablemente estos tiempos de espera en los resultados y de esta forma realizar la toma de decisiones mucho más rápido.

Para obtener la humedad por medio de sensores son tres las tecnologías más utilizadas, siendo los sensores capacitivos, sensores resistivos y sensores por conductividad los más utilizados. A continuación se detallaran las principales características de estos sensores.

2.1 Sensores capacitivos.

Los sensores capacitivos están formados por un substrato (cristal, cerámico o silicio) en el cual una fina capa de polímero y óxido de metal es depositado entre dos electrodos conductores. La superficie sensible se cubre con un electrodo poroso metálico, para protegerlo de la contaminación existente en el ambiente, en la figura 1 se puede ver el sensor HS 1101 que utiliza esta tecnología (Galleguillos, Cid, 2003).

Los cambios en la constante dieléctrica causan una variación en el valor de la capacidad del dispositivo por lo que resulta una impedancia que hace variar la

humedad en forma directamente proporcional a la humedad relativa del ambiente, un cambio en esta constante del 30% aproximadamente corresponde a una variación de 0-100% en la humedad relativa (Fernández , 2005).

Las principales ventajas de este tipo de sensor son su proximidad casi lineal en un rango de humedades, posee un amplio espectro de medida, es estable a largo plazo, tiene un coeficiente de temperatura bajo lo que junto al recubrimiento logra que pueda soportar altas temperaturas sin que se vea afectada la medición y la notable disminución del tiempo junto a una exactitud de medición aceptable (Fares, y Alva, 2000; Starr, 2005).

La principal desventaja para el sensor capacitivo es el pequeño volumen de influencia para su medición (Mounzer, 2005).



Figura 1. Sensor capacitivo HS 1101.

(FUENTE: Microelectronicash, 2013)

2.2 Sensores resistivos.

Los sensores de tipo resistivos están compuestos de un sustrato cerámico aislante sobre el cual se deposita una grilla de electrodos, los cuales se cubren con una sal sensible a la humedad enfrascada en una resina (polímero), la que se recubre entonces con una capa protectora permeable al vapor de agua, en la figura 2 se muestra un sensor de estas características. A medida que la humedad es

absorbida por la capa de protección, el polímero resulta ionizado y estos iones se movilizan dentro de la resina. Cuando los electrodos son excitados por una corriente alterna, la impedancia del sensor se mide y es usada para calcular el porcentaje de humedad relativa. Debido a su estructura este tipo de sensores son relativamente inmunes a la contaminación superficial ya que no afecta su precisión aunque sí el tiempo de respuesta. Este tipo de sensores posee una mayor exactitud para humedades relativas altas y una menor exactitud para humedades relativas bajas (Blasquez Viale, 1995).



Figura 2. Sensor resistivo HCZ H6.

(FUENTE: Alibaba, 2013)

2.3 Sensores por conductividad.

Los sensores por conductividad funcionan aprovechando la propiedad de que si se tiene una superficie cualquiera en presencia de una mezcla gaseosa con vapor de agua, siempre existirán una cierta cantidad de moléculas de agua presentes en dicha superficie. Al tener la presencia de agua se logra que circule una corriente a través de la superficie. Es en esto que se basan este tipo de sensores para la obtención del valor de humedad relativa (Kouro, 2001).

Estos sensores disponen de una superficie pulida, no conductora, sobre la cual se encuentran dos rejillas de oro entrelazadas, sin tocarse (ver figura 3). Según la humedad relativa presente, habrá una cantidad de moléculas de agua proporcional a ella; luego al ser conectados los alambres de oro a una diferencia de potencial continua se producirá una corriente que estará en directa relación con la cantidad de moléculas presentes en la superficie. Al conectar un amperímetro en serie se puede registrar la corriente generada. Se debe conectar una resistencia como medida de seguridad en caso de cortocircuitos. Calibrando el sensor se obtienen las medidas de humedad relativa de la mezcla analizada. Este sensor no es muy útil, ya que la superficie puede ensuciarse y el rango de medición no es muy grande (Galleguillos, y Cid, 2003).

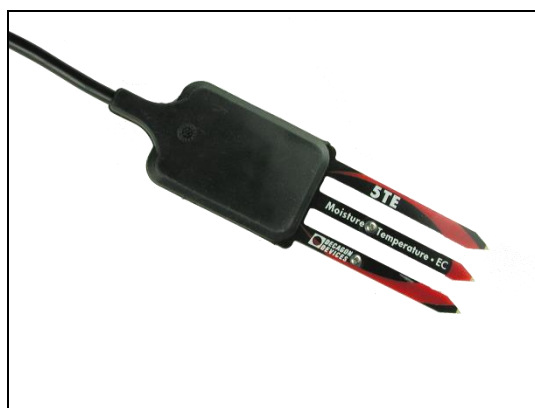


Figura 3. Sensor conductivo 5TE.

(FUENTE: Decagon, 2013)

2.4 Sensor EC-5.

En la figura 4 se muestra el sensor de humedad relativa EC-5 que pertenece a la marca DECAGON DEVICES, empresa relacionada a la fabricación y comercialización de instrumentos científicos relacionados al control de agua, luz y calor en relación suelo-planta-atmósfera (Decagon). Este sensor utiliza la

tecnología capacitiva para la obtención de la humedad relativa, las ventajas y desventajas asociadas a este sensor son las mismas nombradas en la sección anterior.



Figura 4. Sensor humedad EC-5.

(FUENTE: Decagon, 2013)

2.4.1 Características del sensor EC-5.

En tabla 1 se dan a conocer las principales características que presenta este sensor.

Tabla 1. Características del sensor EC-5.

Tiempo de medición	10 milisegundos
Precisión.	En suelo mineral: ± 3% en el volumen de agua contenida (VWC), hasta 8 dS/m. ± 1-2% con calibración específica del suelo. Macetas: 3% VWC, en suelos con 3 a 14 dS/m.
Resolución.	0,001 m ³ /m ³ en todos los suelos hasta 8 dS/m. 0,25% en medios de cultivo.
Requisitos de alimentación.	2,5 VDC – 3,6 VDC @ 10mA
Salida.	10-40% de la tensión de excitación (250-1000mV a 2500mV de excitación)
Entorno de funcionamiento.	-40 a 60 °C
Rango de medición.	0 a la saturación.

dS/m: decisiemens por metro

(FUENTE: Decagon, 2012)

2.4.2 Método de uso del sensor EC-5.

A continuación se detalla el procedimiento para la instalación y medición con el sensor EC-5 (Decagon, 2012):

Al instalar el sensor EC-5 es necesario maximizar el contacto suelo-sensor.

- 1) Cavar un agujero a la profundidad deseada en la tierra, instalar el sensor, procurando que las paletas queden insertas en la parte inferior o en la pared del agujero, nunca libre. Asegúrese que el sensor esté completamente enterrado, como muestra la figura 5.

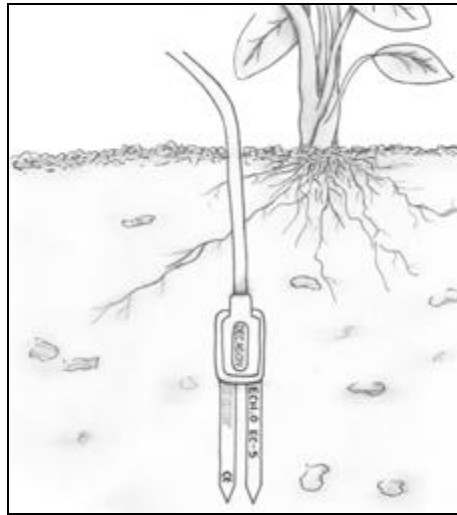


Figura 5. Esquema de instalación sensor EC-5.

(FUENTE: Manual Sensor EC-5)

- 2) Cuidadosamente rellenar el agujero, tratando de mantener la densidad aparente del suelo circundante, tratar de que no se doble el sobre molde negro que conecta el sensor con el cable.
- 3) Para medir presionar el botón CHECK/ON.
- 4) Registrar la medición.

Algunas recomendaciones:

- a) No utilizar cerca de grandes elementos metálicos. Esto puede atenuar el campo electromagnético del sensor afectando la medición.
- b) Entre las paletas del sensor se puede introducir palos, raíces, cortezas u otro material lo que afectaría la lectura.
- c) Tener cuidado al insertar el sensor en suelos altamente compactados. Esto podría generar que las paletas se rompan debido a la excesiva fuerza utilizada.
- d) Se puede orientar en cualquier sentido, pero al orientarlo perpendicular al suelo se minimizan los efectos gravitatorios sobre el agua.

- e) Al retirar el sensor no tirar por el cable, se pueden romper conexiones internas haciendo el sensor inutilizable.

3 METODOLOGÍA

En el presente capítulo se presenta la metodología de trabajo para verificar la medición que entrega el sensor EC-5.

3.1 Suelo utilizado

El suelo utilizado para los ensayos de humedad con el sensor EC-5 se extrajo de las dependencias de la Universidad del Bío – Bío, en específico de la zona de estudio que pertenece al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental llamado Laboratorio de Geotecnia y Medio Ambiente (LAGEMA.)

3.2 Variables a medir

Una de las variables que condiciona el uso del sensor EC-5 es la conductividad eléctrica que tiene el suelo a utilizar. Para esto se utiliza el procedimiento de Vázquez y Bautista (1993) que se encuentra en el anexo D.

Para la determinación de la humedad se emplea el procedimiento especificado en la NCh 1515 Of.79, ver anexo E.

El valor entregado por el sensor EC-5 es la humedad volumétrica que se relaciona con el volumen de suelo (V_s) y el volumen de agua (V_w).

Para obtener este valor es necesario conocer los siguientes parámetros:

- Peso suelo húmedo.
- Volumen.
- Densidad seca.
- Cantidad de agua.

La ecuación 1 muestra cómo se obtiene la humedad en base al valor entregado por el instrumento:

$$\Theta = V_w / V_s \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde: Θ : Valor instrumental.

V_w : Volumen de agua.

V_s : Volumen de suelo.

$$\omega = P_w / P_s$$

$$\omega = (\gamma_w \times V_w) / (\gamma_s \times V_s) \quad \text{Ec. 2}$$

Si: $s = \gamma_s / \gamma_w \quad \text{Ec. 3}$

Reemplazando (1) y (3) en (2) queda la siguiente expresión:

$$\omega = \Theta / s$$

Dónde: ω : Humedad gravimétrica del suelo.

γ_w : peso específico del agua.

γ_s : peso específico del suelo.

s : densidad relativa.

3.3 Medición para analizar desempeño del sensor

Para analizar el desempeño del sensor EC-5 en un escenario lo más general posible, se utiliza una tineta con un volumen de control de 10 litros, el material utilizado es extraído del sector del LAGEMA y los porcentajes de humedad analizados son 4,76 – 10,0 – 25,0 – 30,4 – 44,0 – 70,0 – 100%.

Detalle del procedimiento:

- Preparación de muestra para una humedad del 4,76%

- Vaciar la muestra en la tineta hasta completar los 10 litros.
- Medir con el sensor en 5 puntos (ver figura 6) para un radio de 7,5 cm. enterrando sólo las paletas del sensor.
- Medir con el sensor en 5 puntos (ver figura 6) para un radio de 7,5 cm. enterrando el sensor completo.
- Medir con el sensor en 5 puntos para un radio de 10 cm. enterrando sólo las paletas del sensor.
- Medir con el sensor en 5 puntos para un radio de 10 cm. enterrando el sensor completo.
- Registrar las mediciones para el posterior cálculo de la humedad.
- Obtener una muestra de suelo y calcular la humedad en base al procedimiento de la NCh1515 Of.79.
- Repetir el procedimiento para el resto de las humedades.

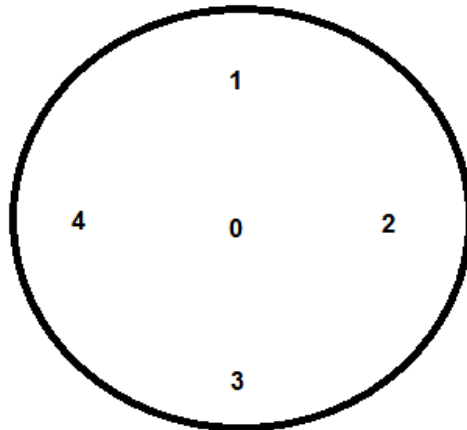


Figura 6. Esquema de la toma de mediciones.

3.4 Determinación del volumen de control.

Se analizará el comportamiento del sensor EC-5 en volúmenes de control pequeños para apreciar la sensibilidad de las mediciones y lograr conocer la geometría y rango en el que trabaja el volumen de control. Para esto se utilizaran 4 probetas de tubos de PVC en los siguientes radios:

R1= 5,25 cm

R2= 4,0 cm

R3= 3,5 cm

R4= 2,25 cm

A continuación se detalla el procedimiento:

- Preparación de muestra con una humedad del 5%.
- Vaciar en los volúmenes de control.
- Medir cuando solo están las paletas del sensor enterradas.
- Medir con el sensor enterrado por completo
- Registrar los datos.
- Obtener muestra y calcular la humedad con el procedimiento de la NCh1515 Of.79.
- Repetir el procedimiento para las demás humedades.

3.5 Ensayos para analizar la influencia de raíces.

Para poder determinar la influencia que tienen las raíces en la medición entregada con el sensor se han utilizado probetas de 3,5 l. las que tienen plantadas tréboles hace unos 10 meses garantizando de esta forma un estado maduro de las raíces.

El procedimiento aplicado se detalla a continuación:

- Medir sólo con las paletas introducidas en el centro de las probetas y lo más cercano a alguna planta, esto para que se garantice la influencia de las raíces.
- Medir con el instrumento completamente hundido en el centro de las probetas y lo más cercano a alguna planta, esto para que se garantice la influencia de las raíces.
- Pesar el suelo que tenía la probeta.
- Sacar una muestra de suelo y secar en el horno para medir su humedad como indica la NCh1515 Of.79.
- Calcular la humedad entregada por el instrumento.

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se darán a conocer los resultados y análisis obtenidos mediante la metodología planteada en el capítulo 3.

4.1 Salinidad del suelo utilizado.

En el sensor EC-5 la precisión y resolución se ven afectadas por el valor de conductividad que tiene el suelo, para tener seguridad sobre los resultados que se obtendrán se obtendrá el valor de la conductividad eléctrica en dS/m mediante el procedimiento detallado en el punto 3.2.

Conductividad del suelo: 7 dS/m

De esta conductividad se tiene que el suelo a utilizar es moderadamente salino y se encuentra dentro del rango de validez para el sensor EC-5.

4.2 Desempeño del sensor EC-5 para caso general

Se realizó un muestreo para 7 humedades distintas en las cuales se tomaron un total de 20 datos por humedad, la diferencia entre el valor máximo y mínimo de cada muestreo es pequeña, se entera un total de 140 datos dividiéndose en 2 grupos: mediciones sólo con las paletas y mediciones sensor completo. El detalle completo de los valores se encuentra en el anexo A.

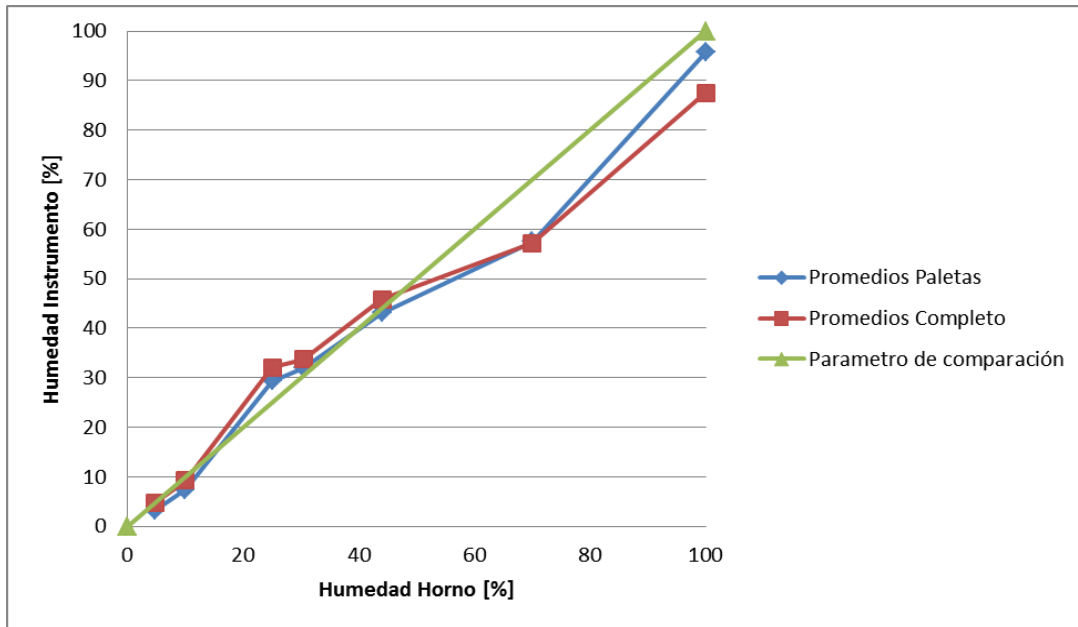


Figura 7. Promedio de humedades para los dos casos analizados.

En la figura 7 se aprecia que para ambos casos las mediciones se encuentran desviadas notoriamente del parámetro de comparación, también se ve que para la medición del 70% de humedad en ambos casos el valor se encuentra notoriamente desviado, lo que para el resto de los casos es menor.

Para poder saber si estas diferencias son significativas se llevó a cabo un análisis de varianza (ANAVA) con el total de las mediciones y todas las variables involucradas para el estudio (humedad ensayo, densidad seca, posición, hundimiento del instrumento y el radio) cuyos resultados se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados ANAVA.

VARIABLE	P-VALOR (4,76 – 100%)	P-VALOR (4,76 – 30,4%)	P-VALOR (30,4 – 100%)
Humedad Ensayo	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Densidad Seca	No aplica	No aplica	No aplica
Posición	0,7293	0,1849	0,5083
Hundimiento Instrumental	0,3119	<0,0001	0,1540
Radio	0,6033	0,4868	0,2999

El ANAVA se realizó con un valor de significancia α de 0,05 por lo que los p-valores por debajo de α implican que existen diferencias significativas con la humedad preparada para cada ensayo.

Dentro de las recomendaciones entregadas en el manual de uso del sensor EC-5 indica que se debe introducir todo el sensor en tierra, pero al ser analizados todos los datos no se logra apreciar esta diferencia, por lo que se procede a realizar un análisis secundario separando los datos en rangos de humedades de 4,76% a 30,4% y de 30,4% a 100%

Por medio del ANAVA con un valor de significancia α de 0,05 se puede apreciar que para el rango de humedades 4,76 – 30,4% el p-valor del hundimiento instrumental está por debajo de este valor de significancia lo que implica que existen diferencias significativas en la medición, distinto es lo que sucede en el rango de humedades 30,4 – 100% donde no se aprecia estas diferencias.

4.3 Volumen de control determinado.

Para lograr la geometría del volumen de control para el sensor EC-5 se procedió a realizar un muestreo de humedades para 4 tubos de pvc los cuales fueron utilizados como probetas para este ensayo, tomando como base un radio de 2 cm

a 3 cm en la saturación (Mounzer, 2005; Guastavino y otros, 2009), pero como el sensor se encuentra desgastado se decide ampliar este rango de diámetros, los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Resumen humedades para cada diámetro.

Valor Humedad	R1= 5,25 cm		R2= 4,0 cm		R3= 3,5 cm		R4= 2,25 cm	
	1	2	1	2	1	2	1	2
5%	3,26	4,23	3,29	4,24	3,89	5,15	2,24	4,64
10%	6,15	7,30	5,99	7,31	6,06	7,88	3,29	7,36
20%	16,03	14,67	12,62	14,45	4,73	14,10	8,41	11,47
50%	33,93	36,18	32,02	33,88	35,82	38,24	32,15	33,22

1: Medición con paletas hundidas.

2: Medición instrumento completo.

También se calcularon los errores relativos, para poder analizar con mayor detalle los resultados obtenidos. En la tabla 4 se presentan los menores errores asociados a cada medición y el diámetro asociado.

Tabla 4. Menor error relativo en cada medición.

Valor Humedad	Error en la medición con paletas	Error en la medición instrumento Completo	Diámetro medición con paletas	Diámetro medición instrumento Completo
5%	22,27	2,99	R3	R3
10%	38,54	21,19	R1	R3
20%	19,87	26,65	R1	R1
50%	28,36	23,52	R3	R3

Se aprecia que existe error en la medición para cada caso, el cual se relaciona con el estado del sensor, no obstante se logran mejores resultados con el R3 de 3,5 cm, de esta forma se ve aumentado el valor del radio para el volumen de control, siendo el volumen de control 384 cm³.

4.4 Influencia de las raíces en la medición.

El manual entregado por el distribuidor indica que el sensor debe estar por debajo de las raíces, para que no se vean involucradas en la obtención del valor de humedad presente en el ensayo. Para saber si esto aplica en el presente estado del sensor EC-5 se procede con la metodología propuesta para este objetivo, los resultados obtenidos se presentan en la figura 8.

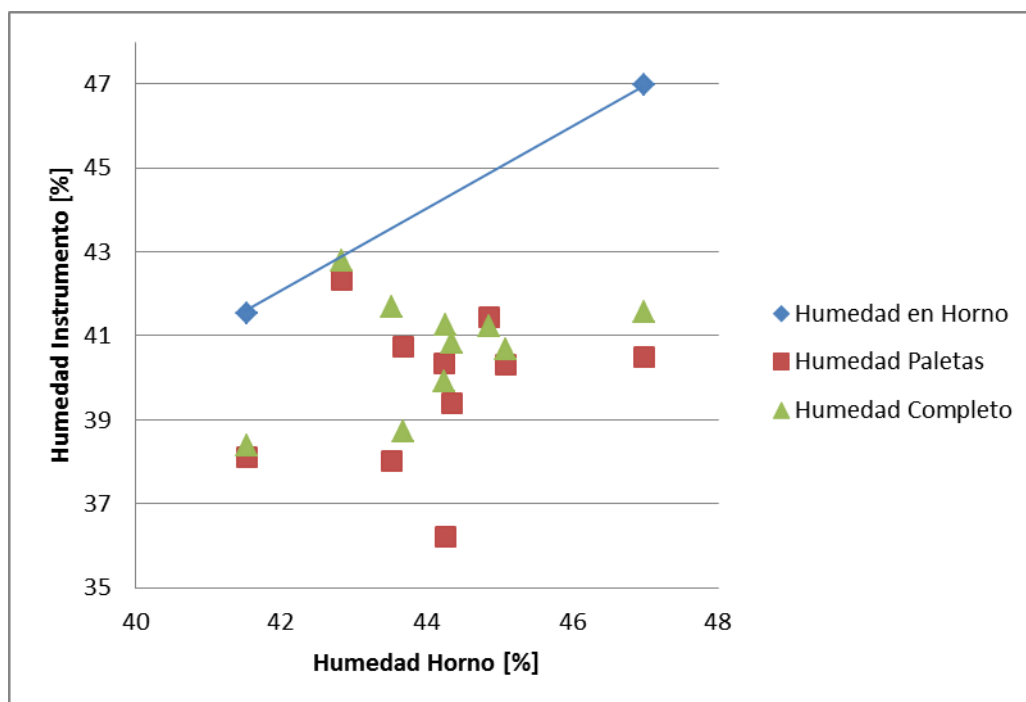


Figura 8 Resultados de humedad instrumental con influencias de raíces.

Se puede apreciar que las humedades se encuentran entre 41 - 47% de humedad, con un valor promedio de 44.14%, dentro del análisis para conocer el estado del sensor se realizaron mediciones para un valor de humedad del 44%, es de ésta forma se puede comparar el valor promedio de los errores relativos en ambas mediciones, ver tabla 5.

Tabla 5. Comparación de los errores relativos del caso con raíces y el caso normal.

Humedad	Medición	Error relativo valores promedios
44.14%	Paletas	9,91
	Completo	7,73
44%	Paletas	1,91
	Completo	4,17

Se aprecia que los errores relativos para las mediciones con presencia de raíces son notoriamente mayores que para las mediciones del caso general, lo que concuerda con las instrucciones dadas por el distribuidor del sensor.

Conjuntamente para saber si existen diferencias significativas se realiza el análisis estadístico de prueba de rangos de signos de Wilcoxon que se muestra en la tabla 6, teniendo como resultado que no existen diferencias significativas cuando se analizan comparativamente los dos procedimientos, pero que al comparar la medición de horno con cualquiera de los dos procedimientos sí existen diferencias significativas.

Tabla 6. Resultados Prueba de signos de Wilcoxon.

	Comparación de procedimientos	Comparación Humedad Horno y Procedimiento
Suma Rangos Positivos	42,00	55,00
n	10,00	10
E(T+)	27,5	27,5
Var(T+)	96,25	96,25
z	1,48	2,80
α	0,05	0,05
p valor	0,0606	0,0022

5 CONCLUSIONES

Luego de analizar los resultados obtenidos a través de la metodología planteada se logran desprender las siguientes conclusiones.

Al verificar la medición de humedad que entrega el sensor EC-5 se logra apreciar que esta medición tiene un error lo que indica que el desgaste en las paletas del sensor es causal de la existencia del error en la medición de humedad entregada. También se identifica un rango de humedades en donde la influencia del hundimiento del sensor es significativa para el valor de humedad que se entrega. La diferencia entre una medición completa y una medición sólo con las paletas del sensor se encuentra en un rango bajo de humedades. La recomendación del distribuidor indica que el sensor debe ser introducido de forma completa por lo que esta diferencia en el modo de uso también se encuentra relacionada con el desgaste que tienen las paletas del sensor.

Partiendo de la base que el sensor se encuentra con errores en la medición de humedad la interrogante que nace es saber si el volumen de control sufre variación y de qué forma, obteniéndose como resultado que el radio del volumen de control se vio aumentado de 2 cm a 3.5 cm, el error asociado a la medición de humedad para este procedimiento se encuentra dentro de los rangos señalados para el caso general.

Mediante la metodología aplicada para identificar la influencia de las raíces en la vegetación, independiente del error que posee el sensor se logra verificar que las raíces influyen en la medición de humedad aumentando el error que ya había en las mediciones del caso general sin presencia de raíces.

Las diferencias que existen en las mediciones de humedad para cada uno de los casos analizados se sustentan en el desgaste percibido en las paletas del sensor,

tomando en cuenta que el valor del sensor no es elevado y lo útil que llega a ser se toma como recomendación la compra de un nuevo sensor EC-5.

6 BIBLIOGRAFÍA

Alibaba. 2013. Alibaba. [En línea]. www.alibaba.com.

Blasquez Viale. 1995. *Tutorial de Sensores*.

Decagon. 2013. Decagon. [En línea]. www.decagon.es.

Decagon Devices Inc. 2012. *User's Manual*.

Decagon, Devices. Acerca de Nosotros: Decagon. [En línea] <http://www.decagon.com/about-us/>.

Fares, A y Alva , AK. 2000. *Evaluation of capacitance probes for optimal irrigation of citrus through soil moisture in an entisol profil*. s.l. : Irrigat Sci. 19: 57-64.

Fernández , Amador Gerardo. 2005. *Monografía: "Sensores Magnéticos e Inductivos"*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca : s.n. págs. 43-44.

Galleguillos, Felipe y Cid, Patricio. 2003. *Sensores de humedad*. Departamento de Electrónica, Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso, Chile.

Guastavino, Claudia, Jorge, Federico y Schinca, Ismael. 2009. *Proyecto SDHS: Sensor de Humedad de Suelos*. s.l. : Universidad de la Republica Uruguay.

Khomenko, A.V, Tapia-Mercado, J. y García-Zarate, M.A. 2010. *Fiber optic sensing of relative humidity using a twin low coherence interferometer*. s.l. : Revista Mexicana de Física. 56 (3) 208-210.

Kouro, Samir. 2001. *Automatización Industrial: Sensores de Humedad*. s.l. : Universidad Tecnica Federico Santa Maria.

Malagón, D y Montenegro, H. 1990. *Propiedades físicas de los suelos* . Instituto Geográfico A. Codazzi.

Microelectronicash. 2013. [En línea]. www.microelectronicash.com.

Mounzer, O.A. 2005. . *Riego localizado de precision en frutales de hueso: Prunus armeniaca L. y Prunus persica (L.) Batsch*. Universidad Politécnica de Cartagena. Tesis Doctoral .

Nch 1515. Of 1979. *Mecánica de suelos- Determinacion de la humedad*. Chile : Instituto Nacional de Normalización.

Stafford, J.V y Hendrick , J.G. 1988. *Dynamic sensing of soil pans*. s.l. : Transactions of the ASAE. 31(1): 9–13..

Starr, G.C. 2005. *Assessing temporary stability and spatial variability of soil water patterns with implications for precision water management*. s.l. : Agric. Water Manag.

Vázquez y Bautista. 1993. *Guía para interpretar el análisis químico de suelo y planta*. Chapingo, México : Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos.

ANEXOS

ANEXO A

“Mediciones Sensor EC-5 para análisis general.”

A continuación se detallaran los valores obtenidos en cada medición con el sensor EC-5.

Datos humedad del 4,67%

peso suelo	12098 grs
% humedad	4,76%
agua agregada	549,7 grs
peso seco	11,548 Kg
γ suelo	1154,830 Kg/m ³
Volumen	0,01 m ³
γ agua	1000 Kg/m ³
s	1,15

Medición solo Paletas

	Medición					Humedad				
	Posición					Posición				
Radio (cm)	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
7,5	4,5	4,3	4,1	4	3,7	3,90	3,72	3,55	3,46	3,20
10	2,5	2,9	3,2	4,3	4,3	2,16	2,51	2,77	3,72	3,72

Radio (cm)	Humedad Promedio
7,5	3,57
10	2,98

Medición Instrumento Completo

	Medición					Humedad				
	Posición					Posición				
Radio (cm)	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
7,5	6	5,6	5,4	5,5	5,3	5,20	4,85	4,68	4,76	4,59
10	5,5	5,5	5,7	5,4	5,5	4,76	4,76	4,94	4,68	4,76

Radio (cm)	Humedad Promedio
7,5	4,81
10	4,78

Datos humedad del 10%

peso suelo	12275 grs
% humedad	10,00%
agua agregada	1115,9 grs
peso seco	11,159 Kg
γ suelo	1115,909 Kg/m ³
Volumen	0,01 m ³
γ agua	1000 Kg/m ³
s	1,12

Medición solo Paletas

	Medición					Humedad				
	Posición					Posición				
Radio (cm)	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
7,5	10,0	7,5	7,5	8,9	8,1	8,96	6,7 2	6,72	7,98	7,26
10	6,7	7,4	8,7	8,4	9,0	6,00	6,6 3	7,80	7,53	8,07

Radio (cm)	Humedad Promedio
7,5	7,53
10	7,20

Medición Instrumento Completo

	Medición					Humedad				
	Posición					Posición				
Radio (cm)	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
7,5	11,1	8,7	10,2	10, 7	9,6	9,95	7,8 0	9,14	9,59	8,60
10	11,6	9,7	10,5	11, 2	10, 8	10,40	8,6 9	9,41	10,0 4	9,68

Radio (cm)	Humedad Promedio
7,5	9,02
10	9,64

Datos humedad del 25%

peso suelo	14867 grs
% humedad	25,00%
agua agregada	2973,4 grs
peso seco	11,894 Kg
γ suelo	1189,360 Kg/m ³
Volumen	0,01 m ³
γ agua	1000 Kg/m ³
s	1,19

Medición solo Paletas

Radio (cm)	Medición					Humedad				
	Posición					Posición				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
7,5	38,8	33,0	36,2	32,8	32,4	32,62	27,75	30,44	27,58	27,24
10	36,3	34,0	35,7	34,8	35,0	30,52	28,59	30,02	29,26	29,43

Radio (cm)	Humedad Promedio
7,5	29,12
10	29,56

Medición Instrumento Completo

Radio (cm)	Medición					Humedad				
	Posición					Posición				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
7,5	38,7	37,9	35,3	38,1	39,8	32,54	31,87	29,68	32,03	33,46
10	38,5	35,3	39,9	37,2	41,5	32,37	29,68	33,55	31,28	34,89

Radio (cm)	Humedad Promedio
7,5	31,92
10	32,35

Datos humedad del 30,4%

peso suelo	9712 grs
% humedad	30,40%
agua agregada	2264,1 grs
peso seco	7,448 Kg
γ suelo	1489,571 Kg/m ³
Volumen	0,005 m ³
γ agua	1000 Kg/m ³
s	1,49

Medición solo Paletas

	Medición					Humedad				
	Posición					Posición				
Radio (cm)	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
7,5	48,1	48,1	49,2	47,5	48,2	32,29	32,29	33,03	31,89	32,36
10	47,8	48,5	47,9	47,7	43,4	32,09	32,56	32,16	32,02	29,14

Radio (cm)	Humedad Promedio
7,5	32,37
10	31,59

Medición Instrumento Completo

	Medición					Humedad				
	Posición					Posición				
Radio (cm)	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
7,5	50,5	50,5	50,6	49,7	50,8	33,90	33,90	33,97	33,37	34,10
10	48,9	50,4	50,5	50,5	49,5	32,83	33,84	33,90	33,90	33,23

Radio (cm)	Humedad Promedio
7,5	33,85
10	33,54

Datos humedad del 44%

peso suelo	16619 grs
% humedad	44,00%
agua agregada	5078,0 grs
peso seco	11,541 Kg
γ suelo	1154,097 Kg/m ³
Volumen	0,01 m ³
γ agua	1000 Kg/m ³
s	1,15

Medición solo Paletas

	Medición					Humedad				
	Posición					Posición				
Radio (cm)	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
7,5	44,3	46,0	52,6	53,8	51,4	38,38	39,86	45,58	46,62	44,54
10	51,4	49,8	50,8	50,6	47,4	44,54	43,15	44,02	43,84	41,07

Radio (cm)	Humedad Promedio
7,5	42,99
10	43,32

Medición Instrumento Completo

	Medición					Humedad				
	Posición					Posición				
Radio (cm)	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
7,5	50,8	53,8	53,8	54,3	52,0	44,02	46,62	46,62	47,05	45,06
10	51,9	53,3	53,0	53,7	52,4	44,97	46,18	45,92	46,53	45,40

Radio (cm)	Humedad Promedio
7,5	45,87
10	45,80

Datos humedad del 70%

peso suelo	16551 grs
% humedad	70,00%
agua agregada	6815 grs
peso seco	9,736 Kg
γ suelo	973,588 Kg/m ³
Volumen	0,01 m ³
γ agua	1000 Kg/m ³
s	0,97

Medición solo Paletas

Radio (cm)	Medición					Humedad				
	Posición					Posición				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
7,5	55,0	55,8	56,9	56,7	55,6	56,49	57,31	58,44	58,24	57,11
10	56,0	56,4	56,0	56,0	56,1	57,52	57,93	57,52	57,52	57,62

Radio (cm)	Humedad Promedio
7,5	57,52
10	57,62

Medición Instrumento Completo

Radio (cm)	Medición					Humedad				
	Posición					Posición				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
7,5	56,0	56,2	56,8	57,0	56,9	57,52	57,72	58,34	58,55	58,44
10	57,3	56,3	56,2	51,7	52,5	58,85	57,83	57,72	53,10	53,92

Radio (cm)	Humedad Promedio
7,5	58,11
10	56,29

Datos humedad del 100%

peso suelo	13888 grs
% humedad	100,00%
agua agregada	6944,0 grs
peso seco	6,944 Kg
γ suelo	694,400 Kg/m ³
Volumen	0,01 m ³
γ agua	1000 Kg/m ³
s	0,69

Medición solo Paletas

Radio (cm)	Medición					Humedad				
	Posición					Posición				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
7,5	65,3	66,0	68,0	67,0	66,0	94,04	95,05	97,93	96,49	95,05
10	65,0	68,1	67,9	65,2	66,5	93,61	98,07	97,78	93,89	95,77

Radio (cm)	Humedad Promedio
7,5	95,71
10	95,82

Medición Instrumento Completo

Radio (cm)	Medición					Humedad				
	Posición					Posición				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
7,5	60,4	61,2	61,2	60,2	61,5	86,98	88,13	88,13	86,69	88,57
10	60,4	60,4	60,8	61,2	60,3	86,98	86,98	87,56	88,13	86,84

Radio (cm)	Humedad Promedio
7,5	87,70
10	87,30

ANEXO B

“Mediciones Sensor EC-5 para volumen de control.”

Datos para R1 = 5,25.

Peso muestra húmeda [Kg]	Peso muestra seca [Kg]	% Humedad por horno	Medida instrumental		Humedad instrumento		γ suelo [kg/m ³]	γ agua [kg/m ³]	s
			Paletas	Completo	Paletas	Completo			
0,9816	0,9349	5%	3,70	4,80	3,26	4,23	1133,62	1000	1,1336
0,9722	0,8838	10%	6,90	8,20	6,15	7,30	1122,76	1000	1,1228
1,0212	0,8510	20%	18,90	17,30	16,03	14,67	1179,35	1000	1,1793
1,3476	0,8984	50%	52,80	56,30	33,93	36,18	1556,30	1000	1,5563

Datos para R2 = 4,0.

Peso muestras húmeda [Kg]	Peso muestra seca [Kg]	% Humedad por horno	Medida instrumental		Humedad instrumento		γ suelo [kg/m ³]	γ agua [kg/m ³]	s
			Paletas	Completo	Paletas	Completo			
0,5813	0,5536	5%	3,8	4,9	3,29	4,24	1156,5	1000	1,1564
0,5709	0,5190	10%	6,8	8,3	5,99	7,31	1135,8	1000	1,1357
0,5495	0,4579	20%	13,8	15,8	12,62	14,45	1093,2	1000	1,0931
0,8383	0,5589	50%	53,4	56,5	32,02	33,88	1667,7	1000	1,6677

Datos para R3 = 3,5.

Peso muestras húmeda [Kg]	Peso muestra seca [Kg]	% Humedad por horno	Medida instrumental		Humedad instrumento		γ suelo [kg/m ³]	γ agua [kg/m ³]	s
			Paletas	Completo	Paletas	Completo			
0,3961	0,3772	5%	4	5,3	3,89	5,15	1029,25	1000	1,0292
0,3809	0,3463	10%	6	7,8	6,06	7,88	989,75	1000	0,9897
0,3986	0,3322	20%	4,9	14,6	4,73	14,10	1035,74	1000	1,0357
0,5716	0,3811	50%	53,2	56,8	35,82	38,24	1485,27	1000	1,4853

Datos para R4 = 2,25.

Peso muestras húmeda [Kg]	Peso muestra seca [Kg]	% Humedad por horno	Medida instrumental		Humedad instrumento		γ suelo [kg/m ³]	γ agua [kg/m ³]	s
			Paletas	Completo	Paletas	Completo			
0,3514	0,3347	5%	2,6	5,4	2,24	4,64	1162,88	1000	1,1629
0,3489	0,3172	10%	3,8	8,5	3,29	7,36	1154,60	1000	1,1546
0,3161	0,2634	20%	8,8	12	8,41	11,47	1046,06	1000	1,0461
0,5066	0,3377	50%	53,9	55,7	32,15	33,22	1676,47	1000	1,6765

ANEXO C

“Mediciones Sensor EC-5 para influencia de raíces.”

Tabla de registro para la obtención de las humedades para la influencia de las raíces en la medición.

N°	PESO SUELO [Kg]	HUMEDAD HORNO	γ suelo [Kg/m ³]	γ agua [Kg/m ³]	S	MEDIDA INSTRUMENTAL		HUMEDAD INSTRUMENTAL [%]	
12	6,916	43,52%	1302	1000	1,30	49,5	54,3	38,01	41,69
28	7,061	44,86%	1317	1000	1,32	54,6	54,3	41,45	41,22
25	6,757	42,85%	1278	1000	1,28	54,1	54,7	42,32	42,79
14	7,183	44,25%	1346	1000	1,35	54,3	53,7	40,35	39,90
24	7,089	44,34%	1327	1000	1,33	52,3	54,2	39,40	40,83
2	7,193	45,09%	1340	1000	1,34	54	54,5	40,30	40,68
30	6,870	44,26%	1287	1000	1,29	46,6	53,1	36,20	41,25
29	7,080	46,98%	1302	1000	1,30	52,7	54,1	40,48	41,56
6	7,189	41,54%	1373	1000	1,37	52,3	52,7	38,10	38,39
18	7,098	43,69%	1335	1000	1,34	54,4	51,7	40,75	38,72

ANEXO D

**“Guía para interpretar el análisis químico de suelo
y planta. Vázquez y Bautista (1993)”**

A. Preparación de la pasta de saturación.

- 1) Pesar 40 g. de suelo y colocar en un recipiente de plástico, si el suelo es arenoso o areno-migajoso pesar 600 g.
- 2) Agregar agua destilada con la bureta y mezclar con la espátula hasta saturación.
- 3) Golpear el recipiente con cuidado sobre la mesa de trabajo para asentar el suelo.
- 4) La pasta estará lista cuando se observe un brillo en su superficie (formación de un espejo); esto no sucede en el caso de suelos con alto contenido de arcilla.
- 5) Anotar el volumen de agua gastado (ml).
- 6) Dejar reposar la pasta durante una hora y comprobar a criterio su saturación.
- 7) Tapar el recipiente y dejarlo reposar por tres horas, excepto suelos arcillosos que deben dejarse reposar 24 horas.

B. Obtención del extracto del suelo.

- 1) Colocar papel filtro sobre el embudo, humedecerlo con agua destilada, dejando drenar el exceso. Conectar el sistema de filtración al vacío.
- 2) Mezclar nuevamente la pasta y colocarla en el embudo y aplicar vacío.
- 3) Obtener un extracto de aproximadamente 50 ml.

C. Determinación de la conductividad eléctrica.

- 1) Calibrar el conductímetro. Antes de usar el medidor de conductividad debe calibrarse con una solución estándar. Para esto se requiere de dos soluciones de KCl, 0,1 N y 0,01 N. Con cada una se ajusta el equipo a la conductividad indicada en la tabla D1.

Tabla D1. Ajuste de conductividad en función de la solución de KCl.

Sol. Estándar de KCl	Conductividad eléctrica a 25° C
0,1 N	12,9 dS/m
0,01 N	1,412 dS/m

Cuando no se sabe la conductividad de la muestra se recomienda calibrar primero con una de las dos soluciones y tomar la lectura de la muestra, después volver a calibrar con la segunda solución y tomar nuevamente la lectura. Para calibrar finalmente el equipo, se debe elegir la solución con la que se aproxime más la conductividad de la muestra.

- 2) Leer la conductividad eléctrica y la temperatura del extracto. Si la lectura se toma en μohms , transformar los resultados a mohms o dS dividiendo entre 1000.
- 3) Si es necesario, hacer corrección consultando la tabla de factores de corrección para diferentes temperaturas (tabla D2), multiplicando el resultado de conductividad eléctrica para el valor correspondiente.

Tabla D2. Factores de corrección de la conductividad eléctrica en función de la temperatura del extracto de saturación.

Temperatura (°C)	Factor de corrección.	Temperatura (°C)	Factor de corrección.
8	1,499	22	1,067
10	1,421	23	1,044
12	1,350	24	1,021
14	1,284	25	1,000
16	1,224	26	0,979
18	1,168	28	0,941
19	1,142	30	0,906
20	1,128	32	0,873
21	1,092	34	0,843

Cálculos.

La unidad estándar de conductividad eléctrica es el siemens/metro (S/m = Ohm/m), pero para evitar la expresión de resultados en pequeñas fracciones decimales se usa, generalmente una unidad más pequeña: el miliSiemens/metro (mS/m). Aunque la conductividad generalmente es reportada en $\mu\text{mhos/cm}$.

$$1 \text{ mS/m} = 10 \mu\text{ohms/cm.}$$

Para convertir la conductividad eléctrica en unidades de salinidad (tabla 4), se toma el valor de referencia de una solución de NaCl 0,05 N con una conductancia de $604 \mu\text{mhos/cm}$ a 25°C como el factor, que al multiplicarlo por la conductividad expresa la salinidad.

$$\text{Salinidad} = (\text{ohms/cm}) \times 604.$$

En la tabla D3 se muestran los criterios para evaluar la salinidad de un suelo, con base en su conductividad.

Tabla D3. Criterios para evaluar la salinidad de un suelo, con base en su conductividad.

Categoría del suelo	Valor (mmhos/cm o dS/m)
No salino	0 – 2,0
Poco salino	2,1 – 4,0
Moderadamente salino	4,1 – 8,0
Muy salino	8,1 – 16,0
Extremadamente salino	>16,0

ANEXO E

**“Procedimiento para el cálculo de la humedad
dado por la NCh 1515 Of.79”**

- a) Obtener de la muestra de suelo en estado húmedo la muestra de ensayo mediante los procedimientos y con el tamaño que indique la norma de ensayo correspondiente.
- b) Determinar y registrar la masa de un recipiente limpio y seco con su tapa (mr).
- c) Colocar la muestra de ensayo en el recipiente cerrando inmediatamente la tapa. Determinar y registrar la masa del recipiente más la muestra húmeda (mh).
- d) Retirar la tapa, colocar el recipiente con la muestra en la estufa a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y secar a masa constante.
- e) Sacar el recipiente con la muestra de la estufa, colocar nuevamente la tapa y dejar enfriar a temperatura ambiente. Determinar y registrar la masa del recipiente más la muestra seca (ms).

Se calcula la humedad como la pérdida de masa de la muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 0,1 %:

$$w = [(mh - ms) / (ms - mr)] \times 100$$

Dónde:

w = humedad, %.

mh = masa del recipiente más la muestra húmeda, grs.

ms = masa del recipiente más la muestra seca, grs.

mr = masa del recipiente, grs.